

1

IPv6 與 IPv4 的比較

IPv6 有時稱為下一代的網際網路協定 (Next Generation Internet Protocol) 或簡稱為 IPng。Internet (網際網路) 雖被視為相當新的技術，不過使其運作的主要協定和技術卻開發於 1970 年代及 1980 年代。目前的 Internet 以及所有企業的和私人的 intranet (內部網路) 都仍在使用 IPv4。而今，Internet 協定族 (protocol suite) 的首次大變革 — IPv6，不再是個遙不可及的夢想，該是我們認真以對的時候了。

1.1 IPv6 的歷史

1990 年代初期，網際網路工程任務編組 (Internet Engineering Task Force，簡稱 IETF) 開始發展 IPv4 的下一代協定。當時有幾個方案被同時提出，目的都在解決可預見的 IP 位址短缺問題，以及提供更多的功能。為了研究這些不同的提案，並做出建言以利後續工作之進行，IETF 遂於 1993 年新增了 IPng 領域 (area)。

1994 年，IPng 領域的主席們於多倫多 (Toronto) 舉辦的 IETF 會議中提出創建 IPv6 的建議。他們的建議記載於 RFC1752 (The Recommendation for the IP Next Generation Protocol)。接著，這些主席們成立了位址壽命預期 (Address Lifetime Expectation，簡稱 ALE) 工作小組，以確認 IPv4 的壽命是否容許發展出具有新功能的協定，或僅足以發展出解決位址空間不足的方案。1994 年，ALE 工作小組根據當時的統計資料推斷，IPv4 位址可能會在 2005 到 2011 年間耗盡。

如果讀者對這幾個不同的提案有興趣，以下提供更多相關的資訊（摘自 RFC1752）。一開始提出了四種方案，分別為 CNAT、IP Encaps、Nimrod 及 Simple CLNP。隨後又有三個方案被提出，分別是 P Internet Protocol（簡稱 RIP）、Simple Internet Protocol（簡稱 SIP）及 TP/IX。1992 年 3 月，聖地牙哥（San Diego）的 IETF 會議之後，Simple CLNP 演變成 TCP and UDP with Bigger Address（簡稱 TUBA），而 IP Encaps 亦發展成 IP Address Encapsulation（簡稱 IPAE）。IPAE 後來與 PIP 及 SIP 合併成 Simple Internet Protocol Plus（簡稱 SIPP）。TP/IX 工作小組也改名為 Common Architecture for the Internet（簡稱 CATNIP）。於是主要的提案縮減成三個，即 CATNIP、TUBA 與 SIPP。詳情參閱 RFC1752。



CATNIP 的相關細節請參考 RFC 1707；TUBA 請參考 RFC 1347、RFC 1526 及 RFC 1561；SIPP 請參考 RFC 1710。

1994 年 11 月 17 日，網際網路工程指導小組（Internet Engineering Steering Group）認可了 IPv6 的建議書，並且草擬了標準的提案。1998 年 8 月 10 日，IPv6 協定的核心部份終於成為 IETF 的草案標準（Draft Standard）。



為什麼新的協定不取名為 IPv5？原因在於，5 這個版本編號已被指定給實驗性質的串流（Stream）協定，所以無法再使用。

1.2 功能概述

IPv6 是史上最重大的網路及技術升級。IPv6 慢慢會在既有的 IPv4 基礎上嶄露頭角，以及為網路帶來正面的影響。閱讀本書的讀者將可在下一階段的網路技術演進中做好準備。IPv6 產品的研發及實作已在全球進行中。因為 IPv6 被定位成 IPv4 的下一個演進階段，所以 IPv6 是 IPv4 的自然擴充，也因此可以利用軟體升級的方式，安裝在大部分的 Internet 裝置上，並且能跟現行的 IPv4 網路互通。IPv6 在 Gigabit Ethernet、ATM 等高性能網路，或低頻寬網路（例如，無線網路）中都能運作良好。此外，它也為 Internet 在未來所需要的新功能 — 像是，擴增的定址範圍、較佳的安全性以及服務品質（Quality of Service，簡稱 QoS）— 提供了一個足以支援的平台。

IPv6 所包含的轉換 (transition) 和互通 (interoperability) 機制，可讓使用者視需要逐步導入和部署 IPv6，以及提供 IPv4 與 IPv6 主機間的互通性。欲成功轉換至 IP (Internet Protocol) 的新版本，必須採取漸進的方式，而且在轉換過程中最好沒有關鍵的互依性。也就是說，在 IPv6 的轉換過程中，「將主機升級到 IPv6」的使用者與「在路由器中部署 IPv6」的網管人員，不需要太多的協調。

以下概述 IPv4 及 IPv6 的主要不同點：

增強定址能力及自動設定機制

IPv6 將位址空間擴增到 128 個位元。這足以解決 IPv4 位址短缺的問題，以及提供更深的定址層級，和更簡單的組態設定。有一天您將很難再回想起，IP 位址只有 32 個位元的日子是怎麼過的。網路管理人員一定會愛上內建於協定的自動設定機制。多點傳播路由 (multicast routing) 的效率也因為多點傳播位址 (multicast address) 加上了範圍 (scope) 欄位，而獲得提升。此外 IPv6 還導入了一種新的位址型式，稱為任一傳播位址 (anycast address)，可將訊息傳送到同一群體中最接近發送端的一個成員。

簡化的標頭格式

IPv6 的標頭擁有 40 個位元組 (bytes) 的固定長度。這個空間事實上僅能容納一個 8 位元組的標頭，再加上二個 16 位元組的 IP 位址 (分別代表來源及目的地位址)。一些原來在 IPv4 標頭中的欄位，不是被移除就是變成了選項。如此一來，IPv6 的封包可以用較低的成本進行更快的處理。

延伸標頭及選項的改良支援

對 IPv4 而言，選項被整合在基本的 IPv4 標頭裡。但對 IPv6 而言，這些選項會被放在延伸標頭 (Extension headers) 中。延伸標頭是可有可無的；需要用到時，只能置於 IPv6 標頭與承載資料 (payload) 之間。如此一來，IPv6 封包的組成將變得十分有彈性，而且 IPv6 封包的轉送效率也可以獲得提升。如果往後有新的選項被定義，也可以輕易地整合進來。

對認證及隱私的延伸

對於認證的支援，以及對資料完整性和資料保密的延伸，都已列入 IPv6 的內建功能。

為資料流加上標籤 (flow labeling) 的能力

發送端可以將屬於相同資料流、需要特別處理或是有服務品質需求的封包加上標籤 (labeling)。即時服務 (real-time service) 便是一個可能會使用此功能的例子。



讀者若想知道有關 IPv6 標準化的現況，可參考：
<http://playground.sun.com/pub/ipng/html/specs/standards.html>

1.3 移轉與否的省思

不嫌麻煩地將既有的 IPv4 網路移轉或升級到 IPv6 是否值得？它真的會成為未來的 IP（網際網路協定）？難道擴充 IPv4 無法提供那些功能？更何況，我們已經有網路位址轉換（Network Address Translation，簡稱 NAT）來解決位址空間不足的問題，以及有 IPSEC（IP Security）來提供安全防護。

新協定最明顯的特色是具有 128 個位元的位址空間，但是重要的變革不只這個。IPv6 套件還包含了許多特色，諸如有較高的擴充性、較佳的資料完整性、服務品質、自動設定機制等重要功能。有了這些功能，即使網路中有大量動態的連線裝置也能夠予以管理，以及提高骨幹中路由的整合性（routing aggregation）和改良多點播路由（multicast routing）。

一些被廣泛應用的 IPv4 延伸功能，像是 NAT，應被視為短期的解決方案。以長期來看，IPv6 對點對點連線（end-to-end connectivity）內建安全防護功能是最佳的解決方案。對於多媒體以及互動式、交易導向的網路應用而言，也只有 IPv6 能夠提供其高品質連線的需求。未來還會有無數的新裝置會連上網路，諸如個人數位助理（Personal Digital Assistant，簡稱 PDA）、手機、配備網頁瀏覽器的智慧型機上盒（set-top box）、家用娛樂系統、咖啡機、冰箱以及汽車等裝置。也只有具備擴充位址空間、先進的自動設定功能以及支援機動性的 IPv6 才足以擔當管理這些裝置的負荷。但是目前還看不到任何可與 IPv6 相提並論的替代技術。

1.4 生氣蓬勃的 IPv6

目前已有非常多的全球性測試網路，甚至商用網路在 IPv6 上運作，本書將於下面幾節討論幾個值得一提的實例。為了描述他們的工作內容，本書使用了一些各位可能還不熟悉的 IPv6 專有名詞，這些名詞都將會在稍後詳細予以說明。



截至 2002 年 2 月，已有超過 120 個運作中的網路取得 IPv6 網段。最新的列表請參考 <http://www.dfn.de/service/ipv6/ipv6aggis.html>。【編註】

1.4.1 6Bone

6Bone 是各個 IPv6 孤島 (island) 所組成的網路，並以 IPv6 封包穿隧 (tunneling) 於 IPv4 封包之中的方法，在既有的 IPv4 基礎建設上運作。這些通道 (tunnel) 主要是以點對點的固定連線設定而成的。在一些研究機構的積極促成下，6Bone 於 1996 年初得以實現。第一個通道是在法國 G6 的 IPv6 實驗室、丹麥的 UNI-C 與日本的 WIDE 之間完成建置的。

1.4.1.1 6Bone 的架構

6Bone 的網路架構具有二個或更多層級。最頂層 (top layer) 組成自一群稱為**虛擬頂層聚集者** (pseudo Top Level Aggregators, 簡稱 pTLAs) 之骨幹傳輸服務提供者 (backbone transit providers)，這些傳輸服務提供者之間以 BGP4+ 作為路由協定。最底層 (bottom layer) 則是由終端網點 (leaf site) 經由 6Bone 互相連接而成。一些可有可無的、稱為**虛擬次層聚集者** (pseudo Next Level Aggregator, 簡稱 pNLA) 的中間層 (intermediate layers)，可用來將終端網點與 pTLA 骨幹網路連接在一起。

1.4.1.2 定址法

終端網點 (終端系統或路由器) 介面之 IPv6 的單點傳播 (Unicast) 定址法所依據的是 RFC2374 — 內容涵蓋可聚集的全球單點傳播位址格式 (Aggregatable Global Unicast Address format) 的詳細說明。6Bone 骨幹網路扮演 experimental TLA (實驗性頂層聚集者) 的角色，又稱為 pTLA (虛擬頂層聚集者)，負責分配位址空間給 pNLAs (虛擬次層聚集者) 及 leaf site (終端網點)。分配給 6Bone 的首碼 (prefix) 為 3ffe::/16 (RFC2471)。目前 pTLA 骨幹網路所分發的是長度 32 個位元 (早期為 24

●.....
編註 欲查詢各地區之註冊資料管理機構 (APNIC、ARIN 和 RIPE) 所發放的 IPv6 網段，以及各網段之管理單位的註冊資訊，請參考 <http://www.ripe.net/ripenc/mem-services/registration/ipv6/ipv6allocs.html>。

或 28 個位元) 的「首碼」, 這必須根據針對 pTLA 所訂定的規則來予以管理。每個 pTLA 扮演著實驗性頂層 ISP 的角色, 並在不打破 6Bone 骨幹聚集性的前提下, 以區塊的方式將位址空間分發給與它直接相連的「傳輸服務提供者」及「終端網點」。

1.4.1.3 成長

6Bone 的成長非常快速, 1997 年 12 月有 43 個骨幹網點 (backbone sites) 及 203 個終端網點 (leaf sites) 註冊。1998 年 12 月有 51 個骨幹網點及 332 個終端網點。2000 年 1 月則成長到 67 個骨幹網點及 505 個終端網點。

我曾試著找一張包括所有 6Bone 骨幹網點的示意圖, 最後還是放棄了。6Bone 的規模已經成長到一個畫面顯示不了的景況, 如果您想體會一下 6Bone 的大小及現況, 請連往 <http://www.cs-ipv6.lancs.ac.uk/ipv6/6Bone>, 參考上面的圖表、統計資料及相關工具。

我在寫這本書的當時, 6Bone 節點的數量剛巧超過 1000, 而且還繼續成長中。最新的列表請見 <http://www.cs-ipv6.lancs.ac.uk/ipv6/6Bone/Whois/index.htm#full>

1.4.1.4 加入 6Bone

6Bone 的會員開放給所有人, 加入 6Bone 的原因除了能體驗下一代的 Internet, 最大的好處是可提前獲得 IPv6 的實作經驗, 讓您得以評估將 IPv6 導入商用網路的最佳時機與方法, 並取得 IPv6 伺服器及相關資源的存取權。此外, 加入 6Bone 還可讓您與全世界最頂尖的科技人士分享經驗。

6Bone 的社群遍佈全球, 而且非常活躍。加入 6Bone 您不僅能夠存取該網路及其上所分享的經驗, 還可以參與及協助發展協定、程式和程序等活動。



如果您對加入 6Bone 有興趣, 請參閱此連結:

http://www.6bone.net/6bone_hookup.html。

連接 6Bone 或其他商用 IPv6 網路的方法有很多:

- 成為 6Bone ISP 的一個終端網點 — 這將使您獲得從 ISP 的 TLA 所分配出來之長度 48 個位元的 IPv6 外部選選首碼 (external routing prefix)。您也可以從 Tunnel Broker (通道中間人) 網站取得暫時性的位址分配 (詳情參見 6Bone 首頁)。
- 依照 6Bone 的程序, 申請自己的 6Bone TLA (如果您是 ISP)。

- 找一個提供 IPv6 商用服務的 ISP（即擁有 sub-TLA 的 ISP），然後自該 ISP 取得首碼（prefix）及自己的商用 IPv6 位址。如果您持有一個 6Bone 的 pTLA 首碼，您已符合取得 sub-TLA 商用首碼（production prefix）的部份條件 — 至少在初期的商用首碼分配階段是如此。
- 使用「6to4」自動建立通道機制。此機制允許您將 IPv4 位址指定到終端用戶網點（end user site）的路由器上，以便使用 IPv6-over-IPv4 Tunnel（IPv6 經由 IPv4 通道）與終端用戶網點溝通。這種位址型態的前 16 個位元為 2002::/16，而其後 32 位元為網點中支援此機制之路由器的 IPv4 位址（從而組成一個完整的 48 位元外部選逕首碼）。請參考第十章以取得更多關於「6to4」自動建立通道機制的資訊。

現在您所需要的只是一部執行 IPv6 堆疊的路由器及主機。現在幾乎所有路由器廠商都已提供正式的商用堆疊（production stack），或是提供試用（beta）的版本。請參考 <http://playground.sun.com/pub/ipng/html/ipng-implementations.html> 以取得支援 IPv6 的路由器及主機列表。

欲進入 6Bone 的世界，建議找一個離您日常連接 Internet 之 IPv4 路徑最近的進入點（entry point）。請參考 6Bone 首頁所提供的 6Bone pTLA 清單（http://www.6bone.net/6bone_pTLA_list.html），並利用 *traceroute* 找出離您最近的路徑。

1.4.2 商用 IPv6 網路

在我寫這本書的時候，IPv6 的發展仍不斷進行著。世界上已經有很多商用網路取得 IPv6 位址首碼，我只挑了其中四個公司為例子。藉著提供 IPv6 的服務，這些公司已踏足未來的網路世界。

1.4.2.1 vBNS+

vBNS+ 是美國一個提供高效能、高頻寬應用的 IP 專業網路，支援純 IPv6-over-ATM（IPv6 經由 ATM）連線及通道方式的 IPv6-in-IPv4 連線。vBNS+ 擁有自 ARIN 取得的專屬 sTLA 以及自 6Bone 取得的 pTLA，並且將這些範圍裡的位址分配給與 vBNS 連線的網點。詳情參見 <http://www.vbns.net>。

1.4.2.2 Telia Sweden

位於瑞典的 Telia 電信公司於 2001 年夏天宣佈它們將以 IPv6 為基礎建立一個新世代的網際網路。截至 2001 年底，該公司於下列城市已建立完成連線點：Stockholm（斯德哥爾摩）、Farsta（法斯塔）、Malmoe（馬爾默）、Gothenburg（瑞典的哥德堡）、Vasa（芬蘭的瓦薩）、Oslo（奧斯陸）、Copenhagen（哥本哈根）及 London（倫敦）。

我曾與 Telia 的專案經理討論，身為一個早期的導入者，我認為他應該有很多意見可供考慮邁向 IPv6 的公司參考。Telia 的想法是要打破雞生蛋、蛋生雞的問題：即廠商不願投入產品開發是因為沒有市場需求，而市場沒有需求是由於廠商不願投入產品開發。為了建立市場，Telia 決定建構一個對外開放的 IPv6 網路，希望這樣的努力能帶動其他公司效法，從而提高 IPv6 的接受度及發展。

現階段 Telia 的 IPv6 網路獨立於既有的 IPv4 基礎建設之外。其原因如下：

- 將網路分開比較容易開始建置的工作，因為 Telia 不需在一夕之間讓所有 IPv4 工程師知道如何使用 IPv6。
- 如果 IPv6 網路發生問題，IPv4 網路不會受到任何影響。
- 將網路分開比較容易進行組態的設定。

新網路一開始就被建置成一個純 (native) IPv6 的網路，而不像有些網路用 IPv4 上的通道來建置 IPv6 網路。目前 Telia 僅為限定數量的用戶提供 IP6 傳輸服務，未來它們將加入更多功能，並逐步將這個 IPv6 網路開放給大眾使用。Telia 所使用的是日立 (Hitachi) 公司所生產的、支援 IPv6 的路由器；相較於軟體實作【編註：例如 Zebra (<http://www.zebra.org/>)】，這是硬體的形式 IPv6 路由器。

在完成首批連線點 (connection point) 的建置後，Telia 的結論是目前市場的支援已經符合開始佈建 IPv6 的需要。雖然還必須將許多應用軟體移植到 IPv6 平台，但 Telia 建議所有公司及 ISP 應該立即開始投入 IPv6。現在基礎條件已經就緒，待 IPv6 的設置更普遍時，將會激勵廠商及應用軟體開發者加速開發的腳步。

1.4.2.3 Internet Initiative Japan

另一個提供 IPv6 傳輸服務的公司是日本一家主攻高階企業用戶市場的 Internet 存取及解決方案供應商 Internet Initiative Japan (簡稱 IJ)。IJ 提供了 IPv6 試用服務 (經由 IPv4 通道) 及獨立於既有 IPv4 網路之外的純 IPv6 服務。2001 年 12 月，IJ 以它們的 ADSL 服務 IJmio DSL/SF 將 IPv6 推廣至個人用戶。



IJ 之 IPv6 服務的相關資訊，請參考 <http://www.ij.ad.jp/IPv6/index-e.html>。

1.4.2.4 NTT 通訊公司

NTT 實驗室於 1996 年即著手建立全球最大的 IPv6 研究網路，1999 年 12 月開始以正式的 IPv6 位址提供試用服務。而自 2001 年春天起，「NTT 通訊」開始提供商用 IPv6 服務。

2001 年 4 月該公司開始提供商用 IPv6 閘道服務 (Gateway Service)。這個純 IPv6 骨幹服務，把位於日本國內的網點與部署於亞洲、美國及歐洲的全球第一層 (Tier1) IPv6 骨幹 NTT/VERIO 連接了起來。此網路是由東京的「NTT 通訊」網路運作中心 (NOC) 及美國達拉斯的 Verio 網路運作中心進行全天候的監控。其骨幹架構如圖 1-1 所示。

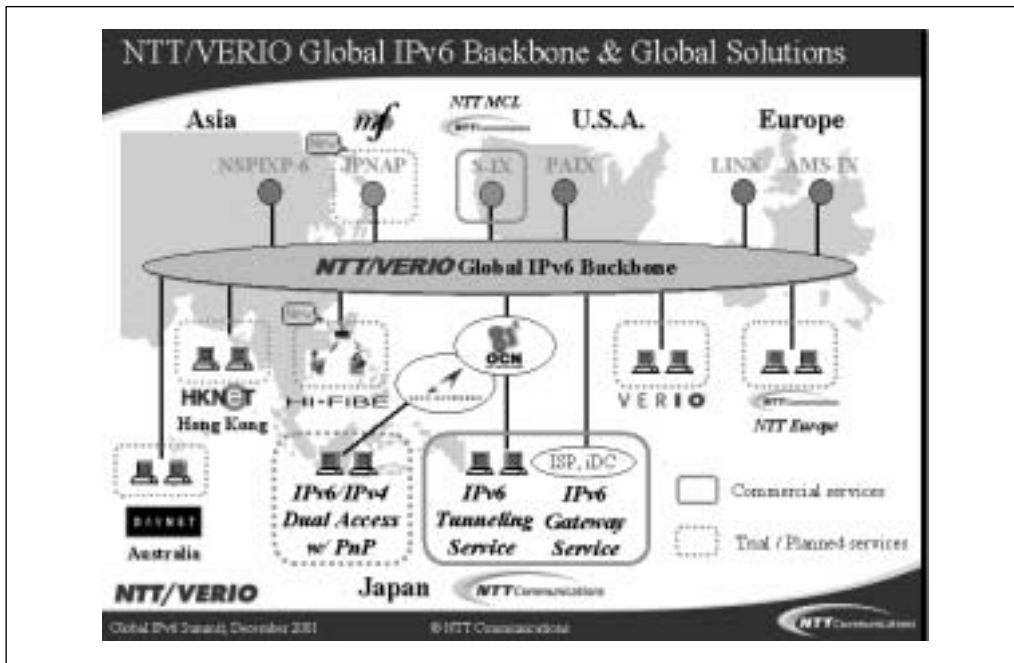


圖 1-1：NTT/VERIO 的全球 IPv6 骨幹

IPv6 閘道服務提供純 IPv6 的傳輸，NTT 自 2001 年 6 月所提供的 IPv6 通道服務亦展示於此圖中。它讓 NTT 的伙伴得以利用既有的 IPv4 網路存取 IPv6 網路，其方法就是在專線上使用 IPv6-over-IPv4 tunneling (IPv6 經由 IPv4 建立通道) 技術。最近所提供的服務是 2002 年第一季開始的 IPv6/IPv4 Dual Access point (IPv6 及 IPv4 雙存取點)，該服務還具備了隨插即用 (plug-and-play) 特性，如此圖的虛線所示。首批使用這個純骨幹服

務的公司有：BIGLOBE/NEC 公司、CHITA MEDIAS NETWORK 公司、Toshiba（東芝）、InfoSphere/NTTPC Communications、Fujitsu Matsushita Graphic Communication Systems 公司及 MEX/Media Exchange 公司。2001 年六月，NTT 展示了 IPv6 上的應用，包括經 IPv6 搖控的相機及 IPv6 視訊會議。

所用到的路由協定包括 BGP4+、RIPng、IS-IS（將於不久的未來用於全球骨幹）和 OSPFv3（使用在 NTT 於日本國內的骨幹上）。NTT 所欠缺的是支援 ICMPv6 polling 功能的商用作業工具。因此他們使用自己開發的路由器組態設定工具，及支援 IPv6 的網路管理工具。

NTT 在全球許多城市提供網路接取點（Points of Presence，簡稱 POPs），如 London（倫敦）、Pala Alto（伯拉阿圖）、San Jose（聖荷西）、Seattle（西雅圖）及 Tokyo（東京）。他們還計劃將服務擴展到全世界，下一階段將會在 Hong Kong（香港）及 Australia（澳洲）設置 POP。NTT 的服務包括：從其所獲得之 sTLA 區段分配正式的 IPv6 位址出去、IPv6 Internet 連線，以及用戶之 IPv6 位址空間的 DNS 反解轄區授權（DNS reverse zone delegation）。



欲瞭解 NTT 的全球 IPv6 服務、如何參加及與之連線，請參考 <http://www.v6.ntt.net/globe/index-e.html>。

1.4.3 與其他 IPv6 網路連線

國際間已經存在有許多 IPv6 的測試及研究網路，您可以在以下列表中發現一些值得注意的連結：

6Ren

6Ren 是一個自發性的研究及教育網路推動小組，提供商用 IPv6 轉送服務以促進高品質、高效能及操作健全的 IPv6 網路。6Ren 可以免費加入，其所開放對象為：所有提供 IPv6 服務的研究及教育網路，亦十分鼓勵其他營利或非營利的 IPv6 網路參與。6Ren 的網站位於 <http://www.6ren.net>。

6Net

6Net 是一個由 Cisco 管理的高容量網路，目前有 30 個會員。6Net 的網站位於在 <http://www.sixnet.org>。

DREnv6

國防研究及工程網路（Defense Research and Engineering Network，簡稱 DREN）是美國國防部高性能計算現代化計劃（High Performance Computing Modernization Program，簡稱 HPCMP）的組成要素之一，提供高性能的網路連線以供美國國防部中有需要的單位使用，如研究發展、塑型和模擬以及測試和評估。DREN 也提供到其他高性能骨幹及聯邦網路的連線，以滿足連線單位的需求。DREN 同時也是一個研究網路，提供平台讓新的協定及應用得以進行測試。DREN 還支援以 ATM 細胞（cell-based）及 IP 訊框（frame-based）為基礎的服務。DREN IPv6 網路是 DREN 所提供的服務之一。DREN 的網站位於 <http://www.v6.dren.net>。

